

му это напряжение можно считать стабильной величиной. А это означает, что при МА можно использовать не дуальную процедуру, а монопроцедуру МА, и тем самым значительно сократить время проведения МА.

Внешний вид БАУ, встроенный в ПУ Эталонов, приведен на рис. 6. Клавиша АВТОМАТ включает Эталоны в автоматический режим, а в положении ВЫКЛ. Эталоны работают в ручном режиме.

Список литературы: 1. *Nemchenko Yu.S., Knyazyev V.V., Kravchenko V.I. and Lisnoy I.P.* The development of the pulse electromagnetic processes measurement unity supporting system in Ukraine // IEEE 2006 Third International Conference on ultrawideband and ultrashort impulse signals. September 18-22, 2006. – Sevastopol, Ukraine. – P. 363-366. 2. *Немченко Ю.С.* Эталон единиц максимальных значений высоких импульсных напряжений. // Вестник НТУ «ХПИ» «Техника и электрофизика высоких напряжений». – 2008. – Вып. 44. – С.106-114. 3. *Ю.С. Немченко, В.В. Князев, И.П. Лисной* Эталон единиці максимального значення великих імпульсних струмів / [та ін.] // Вісник НТУ «ХПІ»: «Техніка й електрофізика високих напруг». – 2009. – Вип.. 11. – С. 111-116. 4. *Князев В.В, Кравченко В.И., Лесной И.П., Немченко Ю.С.* Экспериментальные исследования метрологических характеристик средств измерения высоких импульсных напряжений на Эталоне-ТН // Вестник НТУ «ХПИ» «Техника и электрофизика высоких напряжений». – 2009. – Вып. 39. – С.79-84. 5. *Кравченко В.И., Князев В.В, Лесной И.П., Немченко Ю.С., Гирка Ю.Н.* Экспериментальные исследования выходных характеристик Эталона РЭМП // Електротехніка і електромеханіка. – 2008. – №4. – С. 70-74. 6. Рабочий эталон единиц максимальных значений напряженностей импульсных электрического – вольт на метр (В/м) и магнитного – ампер на метр (А/м) полей (Эталон РЭМП). Руководство по эксплуатации Эталон РЭМП-000.000.000 РЭ.

Поступила в редколлегию 30.06.2010

УДК 681.51: 537.528

Л.Е.ОВЧИННИКОВА, канд. техн. наук, ст.науч.сотр., Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины;
С.С.КОЗЫРЕВ, канд. техн. наук, доцент, Национальный университет кораблестроения, Николаев

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНЫМИ УСТАНОВКАМИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ С НЕЙРОСЕТЕВЫМ РЕГУЛЯТОРОМ

Розроблено систему автоматичного керування електроімпульсними установками на основі нечітких регуляторів з використанням нейромережного регулятора для коригування параметрів функцій приналежності в процесі роботи та динамічного синтезу бази правил.

The automated control system, based on fuzzy-logic, was developed for the electropulse installations. The neuronet controller was used for membership function parameters correction in a process of operation. Also a rule base is dynamically synthesized using a neuron network.

Введение. В электроимпульсных технологиях по обработке сварных швов для снятия остаточных напряжений, очистке отливок сложной конфигурации, имеющих значительные перепады высот, используются электроимпульсные установки с подвижным электродом. Системы управления таких установок должны обеспечивать управление движением электрода в 3-х координатном пространстве над обрабатываемой поверхностью и регулирование режима разряда одновременно для выполнения технологических задач. Известные системы регулирования [1], построенные на основе регрессионной линеаризованной модели, которая адекватно описывает электроразрядный процесс только в окрестности точки номинального режима, обеспечивают управляемость при незначительных отклонениях технологических параметров. При изменении технологических параметров в широком диапазоне и влиянии внешних случайных возмущающих воздействий существующие системы управления не обеспечивают управляемость процесса обработки.

Система управления такими электроимпульсными установками должна обеспечивать управление пространственным движением электродной системы по заданной траектории в процессе обработки сложной поверхности для обеспечения локального концентрированного воздействия в заданных точках и одновременное поддержание оптимальных параметров режима разряда для достижения требуемых удельных энергетических показателей. В таких случаях возникает необходимость менять стратегию управления в процессе обработки. Созданная система управления с использованием нечетких регуляторов [2], база правил которых синтезируется на основании экспериментальных данных, обеспечивает адаптивность управления при различных режимах разряда, позволяет учесть стохастичность процесса, но не обеспечивает требуемого изменения стратегии управления при изменении управляющей координаты в процессе обработки сложных поверхностей со значительным перепадом высот.

Цель работы – синтез системы управления с нейросетевым регулятором (НСР), которая будет обеспечивать движение электродной системы над обрабатываемой поверхностью на заданном расстоянии / в промежутках времени между разрядами, осуществлять выбор управляющей координаты для регулирования режима разряда, корректировать параметры регуляторов и динамично синтезировать базу правил в зависимости от положения объекта управления в пространстве состояний.

Решение поставленной задачи. Электроимпульсная установка как объект управления относится к дискретно-непрерывным многомерным стохастическим нестационарным системам [1]. Оператор соответствия между координатами входного и выходного векторов объекта и статистические характеристики информационных координат зависят от положения в пространстве со-

стояний, то есть от параметров разрядного контура, параметров среды и объектов обработки, которые могут непредвиденно изменяться в процессе выполнения технологических операций. Это вызывает необходимость изменения значений коэффициентов блоков системы управления, области значений лингвистических переменных и функций принадлежности нечетких регуляторов, что в свою очередь требует динамического синтеза базы правил.

Для решения указанных задач предлагается использовать преимущества нечеткой логики в сочетании с возможностями методов обучения нейронных сетей путем включения в систему управления нейросетевых регуляторов. Нейросетевой регулятор дает возможность решить проблему параметрического синтеза за счет подстраивания параметров выбранных функций принадлежности нечетких регуляторов. Наиболее сложной операцией синтеза системы управления является формирование соответствующей базы правил. В существующих системах управления формирование базы правил выполняются в процессе проектирования на основании экспериментальных данных с использованием теории нечетких множеств и методов fuzzy-аппроксимации [2]. Задачу формирования базы правил можно переложить на нейронную сеть и формировать ее динамично в процессе работы, учитывая текущие значения параметров технологического процесса. В таком случае структурно-параметрический синтез с помощью искусственной нейронной сети можно разбить на два этапа [3]:

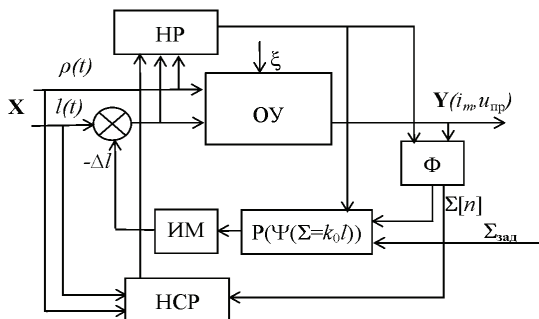
- первый – формирование функций принадлежности для каждого входа на основании метода статистической группировки с помощью нейросети;
- второй – оптимизация параметров функций принадлежности с использованием модификации генетического алгоритма, который обеспечивает получение различных видов функций принадлежности в зависимости от значения текущих параметров технологического процесса и скорости их изменения.

На втором этапе синтеза используется такой тип функций активации нейронов нейрорегулятора, который обеспечивает получение различных видов функций принадлежности – гауссовскую, треугольную или трапециидальную в зависимости от скорости изменения координат вектора состояния.

Структурная схема системы управления электроимпульсными установками с нейросетевым регулятором представлена на рисунке.

Входными переменными являются координаты вектора состояния объекта управления (ОУ): $l[t]$ – длина разрядного промежутка, $\rho[t]$ – удельное сопротивление технологической жидкости. На выходе нечеткого регулятора (НР) в соответствии с базой правил синтезируются сигналы коррекции коэффициентов устройства оценки информационной координаты (Φ – адаптивный фильтр), а также сигналы коррекции зоны нечувствительности релейной функции Ψ и передаточного коэффициента k_0 регулятора (Р), которые зависят

от дисперсии σ_{Σ}^2 информационной координаты $\Sigma[n]$ и базы правил, сформированной нейросетевым регулятором (НСР), которые в свою очередь определяются положением объекта в пространстве состояний. Исполнительный механизм (ИМ), получив сигнал с регулятора (Р) изменяет управляющую координату $l[t]$, замыкая отрицательную обратную связь по выходной координате $\Sigma[n]$.



Блок-схема системы управления с НСР

Для динамичного формирования базы правил и корректировки параметров и вида функций принадлежности нечеткого регулятора в зависимости от значения координат вектора состояния и скорости их изменения в процессе работы используется нейросетевой регулятор. НСР построен на использовании искусственной нейросети с обратным распространением сигнала.

На первом этапе построения функций принадлежности использование алгоритма кластеризации данных позволило с помощью полученных функций принадлежности перекрыть только те области, где в текущий момент размещены данные, и тем самым эффективно распределить ресурсы нейронной сети.

В процессе обучения при синтезе базы правил используется функция обратного распространения сигнала, с помощью которой желаемый выход передается в сеть. Для синтеза правил используется алгоритм конкурентного обучения. После процесса обучения веса соединений определяют выбор соответствующих правил. Приоритетными являются соединения с большим значением веса.

При оптимизации параметров функций принадлежности полученная база правил остается неизменной, нейронная сеть в данном случае распространяет сигнал только в прямом направлении. Выбор для оптимизации модифицированного параллельного генетического алгоритма при увеличении количества оптимизируемых параметров не приводит к усложнению оптимизационного алгоритма и позволяет осуществить синтез регулятора при отсутствии

аналитической зависимости между параметрами регулятора и целевой функцией.

Выводы. Результаты исследования системы управления электроимпульсными установками с нейросетевым регулятором показывают, что она позволяет увеличить точность поддержания траектории движения над обрабатываемой поверхностью, уменьшает перерегулирование и увеличивает быстродействие системы. В результате этого повышается производительность разрядноимпульсной обработки на 15-20 %. Нейросетевой регулятор может настраиваться («обучаться») на различные режимы работы, вследствие чего повышается степень адаптивности системы управления к изменяющимся внешним воздействиям и параметрам среды.

Список литературы: 1. Управление электрогидроимпульсными процессами / И.Т. Вовк, В.Б. Друмирецкий, Е.В. Кривицкий, Л.Е. Овчинникова. – Киев: Наукова думка, 1984. – 186 с. 2. Козырев С.С. Адаптивная система управления электроимпульсной установкой с использованием нечеткого регулятора // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – № 37. – 2006. – С. 92-100. 3. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.

Поступила в редколлегию 20.05.2010.

УДК 621.313

А.А.ПЕТКОВ, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ СИНТЕЗА РАЗРЯДНОЙ ЦЕПИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИМПУЛЬСНОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

У роботі наведені результати подальшого розвитку методу невизначених коефіцієнтів стосовно до синтезу розрядних кіл високовольтних імпульсних випробувальних пристроїв

The results of the further development of the undetermined coefficients method applied to the synthesis of high-voltage pulse discharge circuit of test devices are resulted

Постановка проблемы. При испытаниях различного электротехнического и электронного оборудования на стойкость к воздействию электромагнитных факторов естественного и искусственного происхождения широко используются высоковольтные импульсные испытательные устройства